

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 738 669

21 N° d'enregistrement national : 95 10709

51 Int Cl<sup>6</sup> : H 01 J 27/04, H 05 H 3/06, G 01 T 3/06, G 21 K 1/00,  
G 01 N 23/00

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 13.09.95.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 14.03.97 Bulletin 97/11.

56 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule.*

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

71 Demandeur(s) : SA D ETUDES ET REALISATIONS  
NUCLEAIRES SODERN SOCIETE ANONYME — FR.

72 Inventeur(s) : CLUZEAU YVES SERGE.

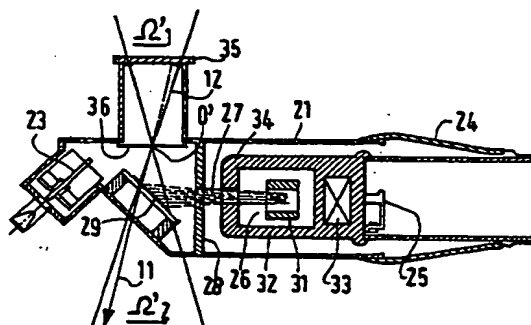
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : SPID.

54 TUBE GENERATEUR DE NEUTRONS EQUIPE D'UN DETECTEUR DE PARTICULES ALPHA.

57 Tube (21) générateur de neutrons, scellé, comportant une cible (29) frappée obliquement par un faisceau d'ions (27) isotopes de l'hydrogène, ledit tube étant équipé d'un détecteur de particules alpha (15, 35) associées à l'émission de neutrons. Ladite cible étant frappée entièrement par ledit faisceau d'ions, le tube comporte, disposés entre ladite cible (29) et ledit détecteur de particules alpha (15, 35), des moyens (36) de focalisation du rayonnement alpha émis depuis ladite cible en direction dudit détecteur.

Application: examen de la matière par neutrons rapides, pour un fonctionnement en continu du tube.



FR 2 738 669 - A1



## Description :

L'invention concerne un tube générateur de neutrons, scellé, comportant une cible frappée obliquement par un faisceau d'ions isotopes de l'hydrogène, ledit tube étant équipé d'un détecteur de particules alpha associées à l'émission de neutrons. Un tel Tube Equipé d'un Détecteur de alpha ( $\alpha$ ) est désigné par le sigle TED dans la suite du texte.

Une application particulièrement intéressante de ce genre de tube est l'examen de la matière par neutrons rapides, pour un fonctionnement en continu du tube. Il est ainsi possible, grâce à une technique de mesure de temps de vol particulière, de déterminer la présence de pratiquement tous les éléments de la classification périodique, y compris ceux qui n'interagissent que faiblement avec les neutrons thermiques tels O, C, Al etc, ainsi que leurs proportions relatives. Cette caractéristique permet par exemple de caractériser la présence d'explosifs, de drogues, de substances dangereuses ou précieuses.

Les tubes à neutrons, dont le fonctionnement en impulsion ou en continu procure l'avantage d'une source neutronique qui peut être arrêtée à volonté, sont connus depuis des décennies. Les neutrons sont engendrés selon des réactions nucléaires de fusion entre des noyaux des isotopes lourds de l'hydrogène : le deutérium et le tritium. Ces réactions se produisent du fait qu'une cible, contenant du deutérium ou du tritium est soumise au bombardement d'un faisceau d'ions de deutérium accélérés sous une différence de potentiel élevée. Les ions de deutérium sont eux-mêmes formés dans une source d'ions, une source de Pennings, notamment, dans laquelle du deutérium sous forme gazeuse est ionisé. La collision entre un noyau de deutérium et un noyau de tritium, dans la cible, fournit un neutron nanti d'une énergie proche de 14 MeV, et une particule alpha (particule  $\alpha$ ) nantie d'une énergie d'environ 3,6 MeV. Pour obtenir un bon rendement de réaction, il convient d'avoir une densité de noyaux cibles

élevée. Un moyen couramment utilisé pour réaliser de telles cibles avec les isotopes de l'hydrogène consiste à fixer les noyaux dans le réseau cristallin d'un matériau hydrurable.

5 Parmi ces matériaux, le titane est souvent utilisé en raison de son plus faible pouvoir d'arrêt, ce qui a pour résultat un meilleur rendement neutronique. Un deuxième facteur favorable à un bon rendement neutronique est que, sans qu'il soit nécessaire de focaliser le faisceau d'ions, ce dernier soit à peu près homogène en densité de flux et qu'il soit arrêté à  
10 peu près uniformément par une cible ayant une surface de l'ordre de 1 à 2 cm<sup>2</sup>, typiquement. Dans ces conditions, les neutrons sont émis selon un flux à peu près uniforme dans toutes les directions, c'est-à-dire dans 4  $\Pi$  stéradians, et, pour chaque neutron émis dans une certaine direction, une  
15 particule  $\alpha$  est émise, sensiblement dans la direction opposée, avec une quantité de mouvement très proche de celle du neutron conformément à la réaction de fusion nucléaire, entre deutérium et tritium, par exemple :



20 les vitesses étant de 5,2 cm/ns pour le neutron d'énergie proche de 14 MeV et de 1,3 cm/ns pour la particule  $\alpha$  associée. Il est important de noter ici que la cible et son support constituent un obstacle infranchissable pour les particules  $\alpha$  qui s'y enfoncent, c'est-à-dire sur 2  $\Pi$  stéradians alors  
25 qu'elles sont émises dans les 2  $\Pi$  stéradians restants, où elles n'ont qu'une épaisseur négligeable de cible à traverser, dans la portion d'espace où se trouve le faisceau d'ions deutérium.

Le tube étant équipé d'un détecteur de particules  
30  $\alpha$ , comme indiqué au premier paragraphe, il est nécessaire d'incliner la cible pour éviter que le faisceau d'ions incident et le faisceau de particules  $\alpha$  émis à détecter ne se gênent mutuellement et pour que le détecteur de particules  $\alpha$  soit facile à implanter sur le tube. A cet égard, il est  
35 courant d'incliner la cible à 45° par rapport à l'axe du tube c'est-à-dire par rapport au faisceau d'ions.

Dans son application à la détection de matière, le

principe de fonctionnement du tube TED associé à un système de mesure de temps de vol est le suivant :

Le détecteur de particules  $\alpha$  définissant avec la cible un premier angle solide  $\Omega_1$  de forme pyramidale en première approximation, il correspond à cet angle solide un deuxième angle solide  $\Omega_2$  en direction opposée qui est homothétique du premier et à l'intérieur duquel est placée, à une distance de l'ordre de 1 à 2 m la matière à sonder, ce qui définit un volume d'interrogation. Dans la matière, certains neutrons issus de la cible interagissent inélastiquement avec des noyaux d'atomes de telle sorte que chaque noyau émet en retour un (ou plusieurs) rayon(s) gamma (rayon  $\gamma$ ) ayant une énergie caractéristique de l'élément dont il est issu et un temps de vol presque négligeable par rapport à ceux du neutron ou de la particule  $\alpha$  associée. L'analyse du spectre  $\gamma$  résultant révèle alors la composition par éléments d'objets dans le volume d'interrogation du système. Cependant un tel spectre est inutilisable, dans la pratique, car noyé dans le bruit qui résulte de la détection parasite de très nombreux rayons  $\gamma$  engendrés en dehors du volume d'interrogation ou bien dus à des captures de neutrons thermiques ou à l'effet Compton dans ce volume, ou en dehors sous l'effet de phénomènes d'activation. L'identification du signal utile au sein du bruit repose sur la coïncidence temporelle que l'on peut observer entre la détection d'un photon  $\gamma$  ayant l'énergie caractéristique de l'élément chimique recherché et celle d'une particule  $\alpha$  associée au neutron générateur de  $\gamma$ , en direction opposée, de façon que la détection de particules  $\alpha$  signe l'émission d'un neutron qui a interagi avec la matière à analyser. Seuls sont alors retenus en tant que neutrons utiles, ceux qui peuvent être datés par le détecteur  $\alpha$ . L'utilisation de cette coïncidence temporelle permet alors d'obtenir un spectre  $\gamma$  utilisable dans de nombreux cas. Dans les cas où cette disposition s'avère insuffisante, il faut alors utiliser en sus une "coïncidence spatiale". En effet, une coïncidence temporelle entre un neutron et une particule  $\alpha$  ne peut garantir une origine d'émission commune, dans la cible

et ainsi les associer, que dans la mesure où l'on peut garantir aussi qu'il y a une bonne colinéarité des trajectoires de ces deux particules. Ceci suppose une assez bonne focalisation des rayonnements neutroniques et  $\alpha$  "utiles" et c'est à ce niveau que l'on pose le problème technique que résout la présente invention :

Un TED, typique de l'art antérieur, est décrit dans l'article :

Associated-Particle Sealed-Tube Neutron Probe (APSTNG) for Characterization of Materials  
publié à l'occasion de "Active Probe Technologies Conference of International Symposium on Substance Identification Technologies", 4 au 8 Octobre 1993, à Innsbruck, Autriche.  
Un tel tube APSTNG, représenté à la figure 3 de l'article, du type à réaction de fusion deutérium-tritium, est fabriqué aux Etats-Unis d'Amérique par "The Advanced Systems Division of Nuclear Diagnostic Systems" (NDS). Il est conçu notamment pour identifier des noyaux associés à des drogues ou des explosifs. Pour obtenir une focalisation acceptable des rayonnements neutroniques et  $\alpha$ , ce tube comporte une électrode de focalisation du faisceau d'ions deutérium, disposée entre la source d'ions et l'électrode d'accélération. Il en résulte sur la cible une zone d'impact des ions confinée à un spot de 1 ou 2 mm<sup>2</sup>, de façon à constituer une source quasi ponctuelle pour les neutrons et les particules  $\alpha$ . On obtient ainsi la focalisation recherchée mais au prix de plusieurs inconvénients qui font qu'un tel tube ne peut avoir ni un bon rendement, ni une longue durée de vie.

En premier lieu, l'optique électronique que constitue l'électrode de focalisation est difficile à mettre en oeuvre car elle attire les électrons présents dans le nuage ionisé, ce qui peut constituer une source de claquages dans le tube. D'autre part, la cible est mal utilisée puisque sa partie utile est réduite à une toute petite surface, comme indiqué ci-dessus, ce qui implique à la fois un faible débit de neutrons par exemple compris entre  $3.10^5$  n/s et  $3.10^6$  n/s dans  $4 \Pi$  stéradians et une durée de vie réduite du fait que

tous les neutrons que le tube est capable d'émettre sont issus de noyaux de tritium présents à l'endroit du spot, dans la cible. Comme, en outre, l'angle solide  $\Omega_1$  d'émission utile des particules  $\alpha$  défini plus haut ne représente qu'une faible  
5 partie de l'espace, il en résulte un débit de neutrons associés dans l'angle solide  $\Omega_2$ , très inférieur à  $10^6$  n/s et par suite une durée d'analyse de matière trop longue, pour une utilisation industrielle pratique, cette durée pouvant atteindre plusieurs dizaines de minutes. Ceci, allié à la  
10 faible durée de vie du tube, fait que seul un nombre assez limité d'analyses de matière pourrait être effectué par un tube donné, et rend chaque analyse coûteuse, outre sa lenteur, si bien que ce tube demeure encore un appareil de laboratoire.

L'invention a pour but de fournir un tube  
15 générateur de neutrons équipé d'un détecteur de particules  $\alpha$  (TED), qui génère un faisceau de neutrons focalisés avec un débit suffisant pour permettre une analyse de matière en un temps plusieurs fois plus court qu'avec un TED de l'art antérieur.

20 Un autre but est de fournir un TED qui génère un faisceau de neutrons mieux focalisés qu'avec un TED de l'art antérieur.

Encore un autre but, compatible avec les buts précédents, est de fournir un TED dont la durée de vie est  
25 plusieurs fois supérieure à celle d'un TED de l'art antérieur.

Selon l'invention, ces buts sont atteints, et les inconvénients de l'art antérieur sont atténués ou supprimés grâce au fait que le TED défini au premier paragraphe est remarquable en ce que, ladite cible étant frappée entièrement  
30 par ledit faisceau d'ions, il comporte, disposés entre ladite cible et ledit détecteur de particules  $\alpha$ , des moyens de focalisation du rayonnement  $\alpha$  émis depuis ladite cible en direction dudit détecteur.

Pour des applications visant l'analyse de  
35 matière(s) par interrogation neutronique continue, lesdits moyens de focalisation du rayonnement alpha sont, avantageusement, constitués par un masque, muni d'un sténopé.

L'idée de l'art antérieur consiste à réaliser la focalisation en un point qui constitue physiquement la source à la fois des particules  $\alpha$  dans une direction et celle des neutrons en direction opposée. L'idée de l'invention est de dissocier les notions de source physique neutron-particule  $\alpha$  d'une part et de focalisation en un point d'autre part. On notera que, selon l'invention, le nouvel angle solide  $\Omega'_2$ , ainsi réalisé, du côté du sténopé opposé au détecteur de particules  $\alpha$ , n'est plus homogène à ce qu'il est pour l'art antérieur décrit plus haut en ce sens que, au lieu de ne comporter que des trajectoires neutroniques, chaque trajectoire se compose ici d'un début de trajectoire de la particule  $\alpha$  associée et, en direction opposée, de la trajectoire du neutron correspondant. Ceci n'est pas un inconvénient, cependant, l'important demeurant que la colinéarité particule  $\alpha$ -neutron soit garantie, lors de chaque détection. En effet, la plus grande variabilité apportée aux temps de vol relatifs du neutron et de sa particule  $\alpha$  associée par la nouvelle nature plus complexe des trajectoires peut être corrigée simplement en pondérant judicieusement la date d'arrivée de chaque particule  $\alpha$  utile en chaque point de la matrice de détection du détecteur de  $\alpha$  : ceci est en effet rendu possible par le fait que la géométrie relative : cible-sténopé-détecteur de  $\alpha$  est parfaitement définie et connue, ainsi que les vitesses des particules  $\alpha$  et des neutrons. On notera d'ailleurs qu'une telle pondération est aussi nécessaire pour le TED de l'art antérieur, même si elle s'avère plus facile à calculer, pour chaque point de détection, que pour le TED selon la présente invention. On relèvera aussi qu'il existe en réalité dans les deux cas un défaut de colinéarité faible mais parfaitement connu qu'il conviendra de corriger dans les deux cas.

En utilisant toute la surface de la cible, de l'ordre de  $1,5 \text{ cm}^2$ , il est possible d'obtenir, de façon nominale, une émission de l'ordre de  $1,6 \times 10^9 \text{ n/s}$ , soit 1600 fois plus qu'avec le TED de l'art antérieur, et avec une durée de vie supérieure à 7000 h. Dans ces conditions, un calcul simple développé dans la suite du texte, montre que les

faisceaux de particules focalisés selon l'invention sont environ 10 fois plus denses que pour le TED de l'art antérieur décrit ci-dessus.

5 Tout en conservant la technique de base par mesure de temps de vol relatifs d'un neutron et d'une particule  $\alpha$  associée, il est encore possible d'utiliser le TED selon l'invention à des fins d'imagerie sous forme de voxels, comme décrit dans l'article précité : "APSTNG for characterization of materials...".

10 En effet, la mesure de l'intervalle de temps entre la détection d'un neutron, par exemple le rayonnement  $\gamma$  qu'il engendre et celle de sa particule  $\alpha$  associée permet, avec une précision d'environ 1 ns, soit 5 cm, d'avoir accès à la longueur de son parcours avant impact, puisque l'on connaît  
15 les vitesses des deux particules et que la détection de la particule  $\alpha$  donne un référentiel pour les trajectoires. Il est donc possible de connaître l'azimuth, le gisement et, moyennant la pondération précitée, la distance parcourue au moment de la détection du neutron et donc son point de  
20 détection (ou d'interaction avec le noyau de matière heurté) même si son détecteur n'a pas une bonne résolution géométrique. Pour une détection par photon d'un neutron, ce photon a une énergie caractéristique du noyau heurté, et il est aussi possible d'identifier sa nature (carbone, oxygène,  
25 azote, etc...). Il est donc possible d'effectuer une analyse locale de la matière et d'en obtenir une image par voxel. Cette image présente bien entendu un grand intérêt pour détecter les substances cachées, volontairement ou non.

Le TED de l'art antérieur précité permettrait ce  
30 type particulier d'imagerie. Cependant, les rayonnements neutrons-particules  $\alpha$  associées requis pour cela sont encore plus élevés que ceux nécessaires pour l'analyse pour laquelle le nombre d'événements à comptabiliser peut rester relativement modeste. On a vu ci-dessus que l'utilisation d'un  
35 sténopé procurait un gain de 10 à cet égard, ce qui permet déjà de hausser la technique précitée à un seuil d'intérêt industriel, pour ce qui est de l'application à l'imagerie par



voxel. Or, la technique du sténopé destinée à l'imagerie suppose des rayonnements assez intenses. Lorsque ce n'est pas le cas, il est connu de percer  $n$  trous dans l'écran au lieu d'un seul, de façon à obtenir  $n$  images différentes, chacune de faible intensité. Bien entendu, ces images se chevaucheront pour former une image composite. Cependant, cette image composite peut être déconvoluée facilement pour obtenir une seule image  $n$  fois plus intense que l'image élémentaire. La déconvolution peut s'effectuer optiquement, en mettant en oeuvre le principe dit du retour inverse de la lumière mais, de préférence, pour une meilleure précision de l'image finale, elle est transposable sur ordinateur et son intérêt évident est d'obtenir un flux d'informations qui peut être très élevé puisque cette technique, dite des masques codés peut utiliser dans certains domaines jusqu'à 1000 ouvertures élémentaires de très petites dimensions, de l'ordre du mm en diamètre.

La description qui suit, en regard des dessins annexés, le tout donné à titre d'exemple non limitatif, fera bien comprendre comment l'invention peut être réalisée.

La figure 1 représente en coupe longitudinale et de façon schématique un tube générateur de neutrons à détecteur de particules  $\alpha$  associées de l'art antérieur.

La figure 2 représente en coupe longitudinale et de façon schématique un tube générateur de neutrons à détecteur de particules  $\alpha$  associées selon un premier mode de réalisation de l'invention.

La figure 3 est un schéma géométrique représentant les trajectoires des particules dans le tube de la figure 2.

La figure 4 est un schéma synoptique d'un système d'analyse de matière par interrogation neutronique continue avec mesure de temps de vol.

La figure 5 représente un masque codé à  $n$  trous à disposer dans un tube générateur de neutrons à détecteur de particules  $\alpha$  associées selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

La figure 6 est un schéma géométrique permettant d'explicitier la reconstruction d'une image par masque codé.

Le TED connu représenté à la figure 1 comporte une première série d'éléments qui constituent l'essentiel d'un tube à neutrons scellé et d'autres éléments relatifs au détecteur de particules alpha associées à l'émission de neutrons. La première série d'éléments consiste en une enveloppe 1 dans laquelle a été fait le vide (voir le conduit pincé 2) puis où a été introduit sous très faible pression un mélange gazeux de deutérium et de tritium. Cette pression gazeuse est régulée par un getter 3 traversé par un courant variable. Un isolateur 4 ferme le tube et supporte les traversées 5 de haute tension pour l'alimentation du tube. Le mélange de deutérium et de tritium est ionisé dans une source d'ions 6 et un faisceau ionique 7 en est extrait par une électrode d'accélération 8 solidaire de l'enveloppe 1. Le faisceau ionique 7 frappe une cible 9 pour y produire une réaction de fusion nucléaire de type :  ${}^3\text{H}(\text{d},\text{n}){}^4\text{He}$ . Cette réaction est symbolisée à la figure 1 par l'émission simultanée d'un neutron 11 (à travers l'épaisseur de la cible et d'un noyau d'hélium, c'est-à-dire une particule  $\alpha$  12, en direction opposée, colinéairement en première approche à la trajectoire du neutron. Le tube à neutrons de la figure 1 comporte deux particularités par rapport aux tubes à neutrons : sa cible 9 n'est pas perpendiculaire à l'axe du tube, mais inclinée par exemple de  $45^\circ$ , comme représenté sur la figure 1, par rapport à l'axe du tube. D'autre part, le faisceau d'ions 7 est focalisé par une électrode de focalisation 13 de façon qu'il frappe la cible 9 en un point 0, théoriquement, c'est-à-dire, d'un point de vue physique, en un spot de l'ordre de  $2\text{ mm}^2$  de surface. Ceci garantit, pour l'utilisation ultérieure du tube que tous les neutrons et toutes les particules  $\alpha$  détectées le sont à partir de ce même point 0.

Pour la détection de particules  $\alpha$ , le tube comporte, dans la même enceinte que la cible 9 un détecteur de particules  $\alpha$  14, constitué par exemple par un scintillateur sensible aux particules  $\alpha$  et insensible au premier ordre aux photons et aux neutrons, le scintillateur étant associé, à

l'extérieur du tube, à un tube photomultiplicateur multianode ou plus généralement à un dispositif à galette de microcanaux 15. Le scintillateur est par exemple du type  $\text{ZnS}(\text{Ag})$  ou  $\text{ZnO}(\text{Ga})$ . Le détecteur de  $\alpha$  est disposé à un endroit du tube qui ne comporte pas d'éléments nécessaires au fonctionnement du tube à neutrons proprement dit et fait un angle, par rapport à la cible inclinée 9, à partir de laquelle les particules  $\alpha$  sont librement émises. Il est ainsi défini, entre le point 0 et la surface sensible du scintillateur 14, un angle solide  $\Omega_1$  à l'intérieur duquel, la plupart des particules  $\alpha$  émises depuis le point 0 sont détectées, avec la possibilité de déterminer l'azimut et le site du tir de chaque particule. A chacune de ces particules  $\alpha$  correspond, en direction inverse, c'est-à-dire à l'intérieur d'un angle solide inversé  $\Omega_2$ , l'émission d'un neutron, émis avec une énergie de 14 MeV à travers l'épaisseur de la cible 9.

On notera que le tube qui vient d'être décrit, muni d'une optique ionique formant un faisceau d'ions convergents tel que 7 a nécessairement une émission neutronique réduite, typiquement comprise entre  $3 \times 10^5/\text{s}$  et  $3 \times 10^6/\text{s}$  dans tout l'espace pour éviter d'une part les claquages entre ses diverses électrodes et d'autre part la destruction trop rapide de la cible au point de focalisation du faisceau.

Le TED selon l'invention de la figure 2 présente à tous points de vue de meilleures performances que celui de la figure 1. Pour ce qui est de l'émission neutronique, le tube selon l'invention est en un sens plus classique que celui de l'art antérieur décrit ci-dessus, puisqu'il ne comporte pas de moyens pour focaliser le faisceau d'ions, lequel frappe la cible sur toute sa surface utile qui se compte alors en  $\text{cm}^2$  et non plus en  $\text{mm}^2$ . Le tube de la figure 2 comporte une enveloppe 21 contenant un mélange gazeux en proportions égales de deutérium et de tritium sous une pression de quelques millièmes de mm de mercure. Ce mélange gazeux est fourni par l'intermédiaire d'un getter 23 faisant office de régulateur de pression. Un isolateur par exemple en verre 24 ferme le tube tout en assurant la traversée de haute tension 25. Le mélange

de deutérium et de tritium est ionisé dans une source d'ions 26 et un faisceau ionique 27 en est extrait par une électrode d'accélération 28 solidaire de l'enveloppe 21. La cible 29, mise à la masse, présente la même disposition avantageusement inclinée que la cible 9 de la figure 1. La source d'ions 26 est de type Penning, comportant une anode 31 et une cathode 32, et un aimant permanent 33 qui crée un champ magnétique axial à travers un champ électrique de quelques kV entre anode et cathode et dont le circuit magnétique est fermé par une douille ferromagnétique 34 qui enveloppe la source d'ions 26. Une très haute tension positive de l'ordre de 150 kV est appliquée à la source d'ions, par rapport à l'électrode accélératrice 28, ces deux éléments étant disposés à une distance de l'ordre de 11 mm l'un par rapport à l'autre. Dans ces conditions, la cible 29 est frappée obliquement par le faisceau d'ions 27 sur une surface oblique de 1,5 cm<sup>2</sup> environ et, plus généralement, l'ensemble des paramètres dont certains sont donnés à titre indicatif ci-dessus, sont réglés de façon que le tube fournisse de façon nominale, c'est-à-dire pour plus de 7000 h de fonctionnement, une émission neutronique de  $1,6 \times 10^9 \text{s}^{-1}$  dans tout l'espace.

Dans le TED selon l'invention le Détecteur de particules  $\alpha$  35, figure 2, peut être semblable à celui de l'art antérieur, 14, figure 1, et avoir une disposition à peu près semblable à celle de ce dernier, à ceci près que son éloignement par rapport à la cible est à peu près doublé, à surface détectrice comparable.

A la figure 2, la focalisation en un point des trajectoires colinéaires neutron-particule  $\alpha$  ne se situe plus sur la cible mais en un point O' situé entre la cible 29 et le détecteur de particules  $\alpha$  35. Ce point O' qui définit les nouveaux angles solides  $\Omega'_1$  et  $\Omega'_2$  de rayonnement utile neutron-particule  $\alpha$  associée, est constitué par un sténopé percé dans un masque 36 solidaire de l'enveloppe 21. Le masque, destiné à arrêter le rayonnement  $\alpha$  est par exemple constitué par une plaque métallique compatible des technologies du vide mises en oeuvre dans la fabrication du

5 tube, par exemple une plaque en aluminium d'épaisseur 0,1 mm  
 et le sténopé est un trou circulaire, dans cette plaque, par  
 exemple de diamètre 1,1 mm et donc de surface 1 mm<sup>2</sup>. Plus  
 généralement, cette surface est typiquement comprise entre  
 0,3 mm<sup>2</sup> et 1 mm<sup>2</sup>. Le scintillateur 35 est fixé en extrémité  
 d'un conduit cylindrique métallique fixé sur le boîtier cible.  
 Ce conduit a un diamètre de 30 mm permettant de recevoir la  
 face avant d'un photomultiplicateur (non représenté) et de  
 fixer son boîtier avec un joint torique étanche à la lumière.  
 10 La partie active du scintillateur 35, de 23 mm de diamètre,  
 est centrée sur l'axe du conduit qui lui-même passe par le  
 centre de la cible 29.

Soit à déterminer maintenant les sensibilités  
 comparées des deux TED de la figure 1 et de la figure 2.

15 La figure 3 montre qu'à chaque point de l'objet G,  
 dans l'angle solide  $\Omega'_2$  (non représenté) correspond un élément  
 conjugué de l'écran du scintillateur 35, dans l'angle solide  
 $\Omega'_1$  (non représenté), défini par un cône tel que 38 s'appuyant  
 sur les parois du sténopé O' de surface s du masque 36 que  
 20 l'on suppose placé très près de la cible. Ce cône 38 découpe  
 respectivement sur la cible et sur l'écran des surfaces s' et  
 s". Compte tenu de l'importance de la distance L objet-cible,  
 de l'ordre de 2 m, par rapport à la distance l cible-écran  
 ( $L \gg l$ ) on peut estimer en première approximation que :

25 
$$s = s'' = \frac{s'}{\sqrt{2}}$$

En admettant que l'émission neutronique du tube soit en  
 première approximation homogène sur toute la surface S' de la  
 cible bombardée par le faisceau d'ions, l'émission neutronique  
 propre à la surface s' s'écrit :

30 
$$n_n = \frac{N}{S'} s' \quad (1)$$

N étant le débit neutronique du tube.

Dans ces conditions, un élément de surface dS de l'objet G à

analyser situé à la distance  $L$  reçoit un nombre de neutrons provenant de  $s'$  qui s'écrit :

$$dn_n = \frac{n_n}{4\pi} \frac{dS}{L^2} = \frac{n_n}{4\pi} \cdot d\Omega$$

$d\Omega$  étant une différentielle d'angle solide.

- 5 Il lui correspond sur l'écran un nombre de particules  $\alpha$ ,  $dn_\alpha$  frappant la surface  $s''$  égal à :

$$dn_\alpha = dn_n = \frac{n_n}{4\pi} \cdot d\Omega = \frac{N}{4\pi} \cdot \frac{s'}{S'} \cdot d\Omega ,$$

la dernière égalité se déduisant de la relation (1).

- 10 La sensibilité de l'appareil peut alors être caractérisée par le rapport  $dn_\alpha/d\Omega$  soit :

$$\frac{dn_\alpha}{d\Omega} = \frac{N}{4\pi} \cdot \frac{s'}{S'} \quad (2)$$

- 15 en prenant par exemple un masque 36 percé d'un trou de 1 mm de diamètre. Le diamètre de la section droite du faisceau étant d'environ 12 mm au niveau de la cible, le facteur  $s/S'$  est égal à :

$$\frac{1}{12^2} = 7 \cdot 10^{-3}$$

Comme  $N$  admet une valeur nominale  $N_{nom} = 1,6 \cdot 10^9 \cdot s^{-1}$ , la sensibilité  $dn_\alpha/d\Omega$  pour le TED de l'invention, pour une résolution spatiale d'écran d'environ 1 mm, s'écrit :

$$20 \quad \frac{dn_\alpha}{d\Omega} \approx 9 \cdot 10^5 \cdot s^{-1} \cdot sr^{-1}$$

- 25 Il est intéressant de comparer ce résultat avec celui que l'on obtient pour le tube connu de la figure 1. Pour ce dernier, on admet une émission maximale, dans tout l'espace, de  $N_{max} = 3,5 \cdot 10^5 \cdot s^{-1}$  pour un tube développé avec succès mais en acceptant une certaine réduction de sa durée de vie. Comme dans ce cas  $s'$  s'identifie à  $S'$ , puisque toute l'émission est

issue du spot de surface  $s'$ , il vient :

$$\frac{dn_a}{d\Omega} = \frac{N}{4\pi}$$

soit, en prenant pour  $N$  la valeur  $N_{\max}$  précitée et toujours avec un spot de l'ordre de 1 mm de diamètre, il vient, pour l'application numérique :

$$\frac{dn_a}{d\Omega} = 2,8.10^4 . s^{-1} . sr^{-1}$$

Le concept du TED selon l'invention conserve donc un gain de sensibilité de l'ordre de 32, ceci étant associé à un potentiel de durée de vie supérieur à 7500 h, ce qui n'est pas le cas pour le tube de l'art antérieur qui fonctionne non pas à débit nominal, mais à débit maximal de neutrons.

Ces avantages sont liés à l'utilisation possible de toute la surface de cible comme il apparaît à l'évidence sur la figure 3. On notera par ailleurs que le sténopé  $O'$  possède une surface parfaitement définie et invariable en taille comme en position, alors qu'il n'en est pas de même pour le spot d'impact des ions sur la cible de la figure 1, ce spot étant difficile à réduire à une taille inférieure au  $mm^2$  et à maintenir immobile en position aussi bien qu'en dilatation-contraction suite à des variations toujours possibles des paramètres de fonctionnement du tube.

Une première application simple du tube selon l'invention de la figure 2 est la mesure précise du débit neutronique du tube qui peut s'exprimer par :

$$N = \frac{n_a}{\epsilon} \cdot \frac{4\pi}{\Omega_1/}$$

$n_a$  étant le débit de particules  $\alpha$  sur le scintillateur d'efficacité de détection  $\epsilon$  et  $\Omega_1$ , exprimé en stéradians, étant l'angle solide embrassé par le scintillateur depuis le point  $O'$ . Il est particulièrement intéressant de tester ainsi le fonctionnement d'un tube à neutrons classique dont le

faisceau ionique s'étale sur toute la cible. Pour la mesure précitée, il faut veiller cependant à ce que toute la partie de cible bombardée par le faisceau ionique 27 soit visible, à travers le sténopé, à partir de la surface du scintillateur 35.

Toutefois la vocation première d'un TED, son application la plus importante, est celle de l'analyse de matière(s) par interrogation neutronique continue. Pour ce type d'applications on peut se référer à la publication :

10 "Evaluation of the Neutron Diagnostic Probe System, Final Report", par E. A. Pentaleri et Y. Y. Eisen, Octobre 1990, publié par Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico 87545.

15 Dans cette publication, on s'attache à évaluer les capacités d'une sonde neutronique, constituée par un TED semblable à celui de la figure 1 décrit plus haut et à examiner son utilité selon différents cas de figure pour la détection d'explosifs dissimulés (détection de C, N, O selon certaines proportions révélatrices de tel ou tel type particulier d'explosif). La multiplication dans un rapport au moins égal à 20 10 des performances par le TED selon l'invention, le rend particulièrement attractif pour ce type d'applications qui inclut aussi la détection de drogue ou la détection et la mesure du plutonium dans des fûts de déchets radioactifs, la 25 détection des armes chimiques, la détection des mines. Outre les applications de sécurité et de défense précitées, on notera encore des applications industrielles telles que l'analyse de la matière utilisée en grands débits (cimenterie, sidérurgie, verres, élaboration des métaux...), et aussi 30 l'évaluation des teneurs de matériaux, des minerais, etc...

Sans qu'il soit nécessaire de s'étendre sur la technique particulière de temps de vol bien connue, utilisée ici, on décrit cependant un schéma synoptique, figure 4, d'un analyseur incorporant un TED selon l'invention, 41, utilisable 35 pour l'analyse de matière précitée.

Cette analyse repose sur l'extraction du signal  $\gamma$  résultant de l'interaction d'un neutron avec un noyau de



matière, ce qui permet ensuite de déduire un spectre d'énergies de  $\gamma$  peu bruité : seuls sont pris en compte les photons  $\gamma$  se situant à l'intérieur d'une fenêtre temporelle  $\Delta\theta$  intervenant elle-même après un laps de temps  $\theta$  succédant à la

5 détection d'une particule  $\alpha$  dans le TED. La durée  $\theta$  représente la différence des temps de vol et de détection, de la particule  $\alpha$  et du neutron associé ; la durée  $\Delta\theta$  représente le temps moyen nécessaire au ralentissement du neutron pour qu'il ne puisse plus provoquer d'interactions inélastiques avec les

10 noyaux de matière. La figure 4 montre le schéma de principe d'un circuit électronique permettant cette sélection.

L'alimentation THT, ainsi que l'alimentation de source d'ions doivent être très bien stabilisées pour que le maintien du courant cible  $I_c$  à sa valeur de consigne assure

15 une excellente stabilité de l'émission neutronique, laquelle peut toutefois être sujette à monitoring par le détecteur  $\alpha$  du tube. L'asservissement du courant  $I_c$  s'effectue (bloc 40, figure 4) par contre réaction sur l'alimentation du réservoir du TED (23, figures 2 et 4). Toute tendance à l'évolution de

20  $I_c$  est alors compensée au premier ordre par une évolution en sens contraire de la pression de gaz dans le tube, elle-même induite par une variation adéquate de l'alimentation du réservoir.

La détection d'une particule  $\alpha$  par le scintillateur

25 du TED 41 selon l'invention se traduit par l'apparition d'une impulsion électrique à front de montée raide sur l'anode du photomultiplicateur 42 qui lui est associé. Cette impulsion, après différentiation et amplification dans un ensemble préamplificateur-amplificateur à large bande, 43, génère une

30 impulsion rapide normalisée par un tiroir sélecteur d'amplitude rapide (TSAR) 44. Le seuil bas de ce TSAR 44 élimine les impulsions de bruit essentiellement générées par la détection dans le scintillateur des photons  $\gamma$  de bruit mais aussi des particules  $^3\alpha$  issues des réactions de fusion

35  $D(d,n)^3\text{He}$  au sein de la cible. Le seuil haut élimine quant à lui les impulsions générées par la détection des protons issus de la réaction de fusion  $D(d,p)^3\text{H}$  au sein de la cible.

L'impulsion émise par le TSAR 44 alimente les 2 entrées d'un circuit d'anti-coïncidence 45 par une liaison directe et par une ligne à retard de  $\Delta\theta$  46. Ce circuit 45, qui actionne directement la porte lente 47 alimentant un sélecteur d'amplitude multicanaux 48, permet d'éliminer tous les empilements pouvant se produire entre neutrons utiles et de conserver les seuls neutrons exploitables dont les durées d'interaction ne se recouvrent pas.

La même impulsion délivrée par le TSAR 44 est aussi retardée d'une durée  $\theta$  par une ligne à retard 49 pour activer, durant un temps  $\Delta\theta$  une porte rapide 51 destinée à sélectionner les photons  $\gamma$  produits le cas échéant par le neutron associé à la particule  $\alpha$ .

La détection d'un photon  $\gamma$  par le détecteur 52 donne naissance à deux types de signaux. Le premier, rapide, apparaît sur l'anode d'un photomultiplicateur 53 et subit une différenciation puis une amplification et enfin une sélection grossière d'amplitude par des circuits à large bandes préamplificateur-amplificateur 54 et TSAR 55. Le signal issu de cette voie rapide traverse la porte rapide 51, dite de coïncidence si celle-ci a été ouverte auparavant par une particule  $\alpha$ . S'il en est ainsi, ce qui signifie que le rayon  $\gamma$  provient alors avec une forte probabilité de l'action sur la matière du neutron associé à la particule  $\alpha$  précitée, le signal traverse la porte rapide 51 et actionne la porte lente 47 qui alimente le sélecteur d'amplitude multicanaux 48.

Le second signal provenant de la détection du photon  $\gamma$  est recueilli sur une dynode du photomultiplicateur 53. Il est ensuite mis en forme et amplifié par un circuit 50 de qualité spectrométrique c'est-à-dire à faible bande passante. L'information sur l'énergie du photon est en effet portée par l'amplitude de l'impulsion et celle-ci ne doit pas être modulée par un bruit de circuit si l'on désire conserver une bonne résolution. Ce signal, après traitement, arrive au sélecteur d'amplitude multicanaux 48 pour être analysé, à la condition que la porte lente d'entrée ait bien reçu un signal de coïncidence de la part du circuit-porte rapide 51 et un

signal d'anticoïncidence de la part du circuit rapide 45.

Le circuit analyseur décrit aux paragraphes précédents peut aussi comporter avantageusement un détecteur des coordonnées  $x, y$ , de la particule  $\alpha$  qui vient d'être  
5 détectée : à cet effet, un circuit d'acquisition 59 fournit les coordonnées  $x, y$  de toutes les particules  $\alpha$  détectées, et parmi ces couples de coordonnées, seuls sont validés, chaque fois, au même titre et au même instant  $T_i$  que le signal de sortie du circuit 47, chaque couple  $x_i, y_i$ . Cette validation  
10 s'effectue au moyen d'une porte lente 61 qui reçoit les signaux de sortie des circuits 45 et 51 et les signaux  $x_i, y_i$  sont mémorisés dans un registre 62. Il est aussi possible de regrouper dans chaque emplacement d'une mémoire, non représentée, les informations recueillies pour chaque  
15 coïncidence détectée, à savoir :

$T_i$  : date de l'événement

$E_i$  : énergie du photon

$x_i, y_i$  : coordonnées de la particule  $\alpha$ .

Par adjonction à l'analyseur des coordonnées des particules  $\alpha$   
20 significatives on obtient ainsi une forme particulière d'imagerie mais on ne peut cependant pas parler d'imagerie au sens habituel de ce terme étant donné le très faible niveau de signal sélectionné. ceci restant vrai même avec le TED à sténopé de la figure 2 qui fournit pourtant un signal utile  
25 d'analyse d'un ordre de grandeur plus élevé que dans l'art antérieur.

Cependant, un deuxième mode de réalisation de l'invention permet d'accéder à l'imagerie par interrogation  
30 neutronique à partir d'un tube à neutrons fonctionnant en continu. Partant du TED de la figure 2, il est en effet possible de remplacer le masque à sténopé 36 par un masque 65, figure 5, percé de plusieurs trous 66, technique d'imagerie connue par les opticiens sous le nom d'imagerie par masque codé. La distribution des trous dans le masque peut être  
35 aléatoire, comme représenté à la figure 5, ou répondre à certaines fonctions de distribution spatiale. Ceci résulte en  $n$  images qui se chevauchent pour former une image composite

sur le scintillateur 35. Concernant cette technique connue et l'image reconstruite à partir de l'image composite dont l'intensité croît avec le nombre de trous pratiqués dans le masque 65, on peut se reporter à l'article :

- 5 "Coded Aperture Imaging of Gamma-Rays Using Multiple Pinhole Arrays and Multiwire Proportional Chamber Detector" de L. T. Chang, B. Macdonald, V. Perez-Mendez, et L. Shiraïski, publié dans IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. NS-22, Février 1975.

- 10 L'image peut être reconstruite par des moyens optico-mécaniques dont le principe est rappelé ci-dessous en référence à la figure 6.

La figure 6 montre comment il est possible de façon simple, de décoder géométriquement l'image composite, en  
15 utilisant le principe du retour inverse de la lumière, en l'absence de catadioptrès, pour reconstituer une seule image par une simple introduction d'un seuil bas : seules les intensités lumineuses des points dépassant ce seuil sont retenues comme appartenant à l'image finale, ce qui revient à  
20 un filtrage du signal optique à décoder.

A la figure 6, la partie de gauche représente la saisie de l'image composite et la partie de droite le décodage de l'image composite pour reconstruction de l'image finale. Ces deux parties sont symétriques l'une de l'autre par rapport  
25 à un plan médian soit respectivement les symétries suivantes :

- écran d'image finale 71 avec cible-source 29.
- masque décodeur 72 avec masque codé 65.
- cliché 73 avec détecteur 35.

pour  $n = 3$ , soit les trous  $r_1$ ,  $r_2$  et  $r_3$  dans le masque codé 65,  
30 un point source  $s_0$  fournit 3 signaux  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$ . Ces trois signaux étant pris eux-mêmes comme sources  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , sur le cliché 73, produisent eux-mêmes, après passage à travers les trous  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  dans le masque décodeur 72, symétriques des trous  $r_1$ ,  $r_2$  et  $r_3$ , 9 signaux sur l'écran d'image finale 71.  
35 Parmi ces 9 signaux, 6 d'entre eux, isolés,  $i_{31}$ ,  $i_{21}$ ,  $i_{32}$ ,  $i_{23}$ ,  $i_{12}$  et  $i_{13}$  sont inférieurs au seuil SL et ne sont pas pris en

compte. Par contre le signal superposé  $I = i_{11} + i_{22} + i_{33}$  est seul retenu, au point image du point source  $s_0$ . Plus généralement, on peut utiliser des méthodes de corrélation et reconstruire l'image préalablement mémorisée, par calcul, au moyen d'un processeur.

Pour l'utilisation en imagerie du deuxième mode de réalisation du TED selon l'invention avec masque codé, on notera que la connaissance de la trajectoire des particules est perdue et qu'il n'est plus possible de "reconstruire" la position de l'objet émetteur  $\gamma$ . La localisation de l'objet peut alors être obtenue sur l'image grâce à ses aspects caractéristiques ou grâce à des repères préalablement introduits dans le champ de vision de l'appareil. Ceci entraîne en outre l'introduction de bruit par prise en compte d'une certaine proportion de coïncidences fortuites par le système d'imagerie car la durée de la fenêtre de coïncidence temporelle doit être accrue pour tenir compte des durées des temps de vol correspondant aux trajets passant par les diverses ouvertures du diaphragme  $\alpha$ . Cependant, comme le nombre d'événements est très élevé, la précision reste suffisante, pour l'imagerie, et pour ne pas dépasser les capacités de mémorisation du système on peut simplifier ce dernier en procédant, pour chaque élément analysé, par filtrage du photon caractéristique émis lors d'un impact de neutron avec un noyau de cet élément, ce qui fournit une cartographie de l'élément recherché dans la matière étudiée, par relevé des seules coordonnées  $x_1, y_1$  limitées à la présence de noyaux de chaque élément recherché.

Pour l'étude de matières cachées, il est envisageable de procéder en deux temps, d'abord en procédant par imagerie en utilisant le TED à masque codé, selon le deuxième mode de réalisation, puis par analyse, en utilisant le TED à sténopé selon le premier mode de réalisation.

On peut résumer comme suit les classes d'équipements TED qu'il est possible de réaliser selon l'invention.

Une première classe consiste en un TED émettant des

neutrons par toute la surface de sa cible et dont le détecteur de  $\alpha$  comporte un diaphragme percé d'un trou. On obtient ainsi un analyseur qui, outre qu'il utilise selon une technique de base les coïncidences temporelles pour extraire le signal hors du bruit, offre la possibilité supplémentaire de localiser l'émetteur  $\gamma$  essentiellement caché.

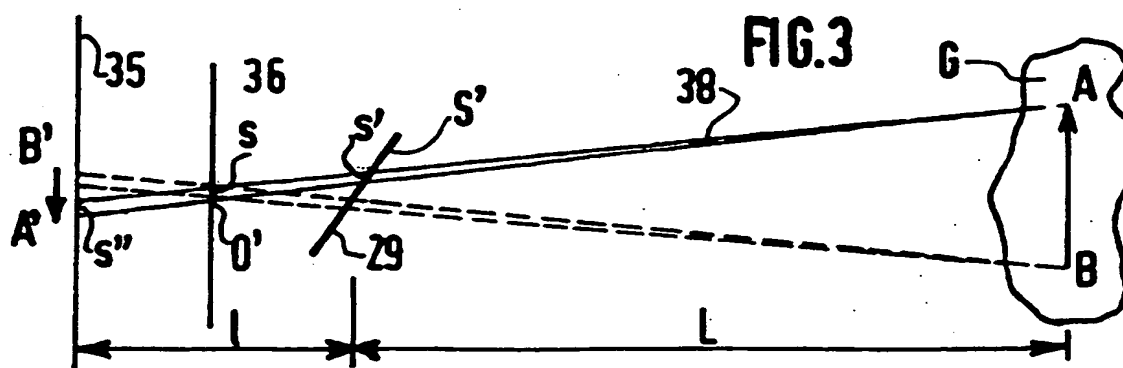
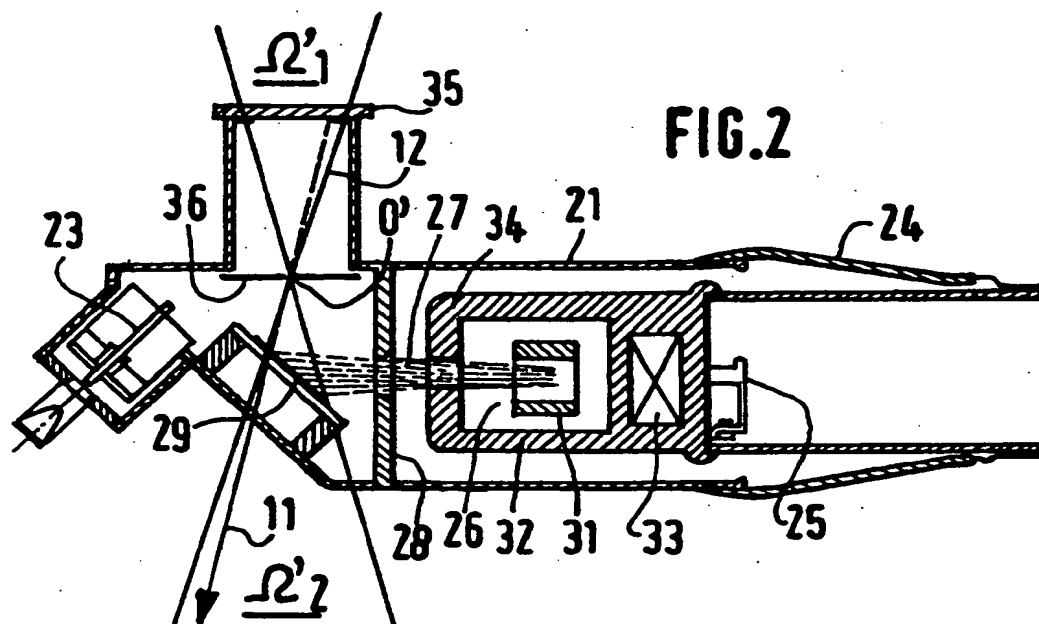
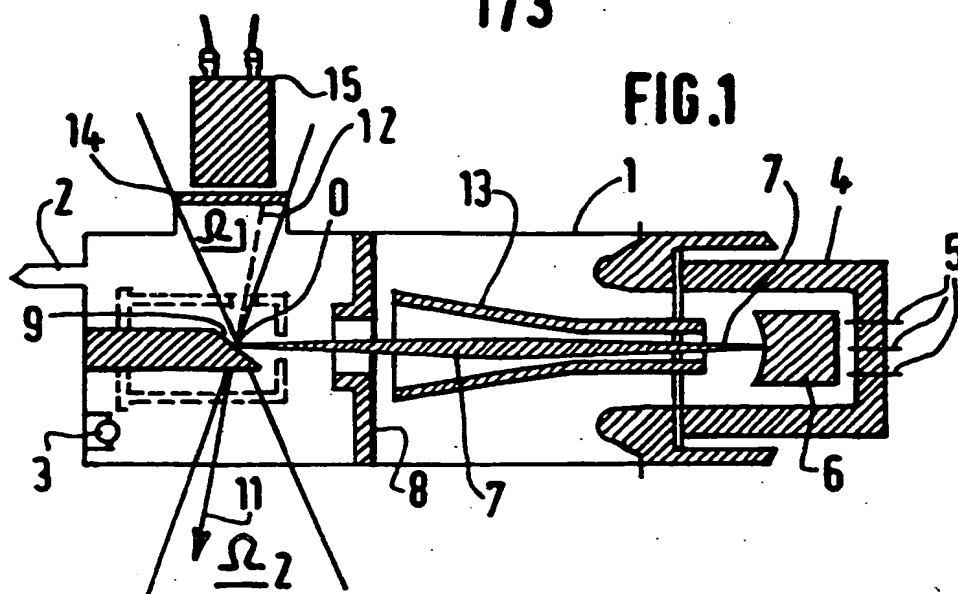
Pour une deuxième classe, des collimateurs  $\gamma$  sont ajoutés aux équipements de la classe précédente. Aux performances de la classe 1 s'ajoute alors la possibilité d'un filtrage par coïncidences spatiales qui réduit encore le bruit, notamment dans le cas d'objets massifs fortement diffusants.

Pour une troisième classe, aux dispositions de la classe 1 sont rajoutés plusieurs trous dans le diaphragme pour particules  $\alpha$ . Le signal est alors fortement accru et la localisation de l'émetteur  $\gamma$  est toujours possible mais via l'image, dans ces conditions et non pas par reconstruction de la trajectoire des particules. Un fort contraste des sources  $\gamma$  est nécessaire pour cette classe de TED.

## Revendications :

1. Tube générateur de neutrons, scellé, comportant une cible frappée obliquement par un faisceau d'ions isotopes de l'hydrogène, ledit tube étant équipé d'un détecteur de particules alpha associées à l'émission de neutrons.  
5 caractérisé en ce que, ladite cible étant frappée entièrement par ledit faisceau d'ions, il comporte, disposés entre ladite cible et ledit détecteur de particules alpha, des moyens de focalisation du rayonnement alpha émis depuis ladite cible en direction dudit détecteur.
- 10 2. Tube générateur de neutrons selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de focalisation du rayonnement alpha sont constitués par un masque muni d'un sténopé.
- 15 3. Tube générateur de neutrons selon la revendication 2 comportant une cible tritiée pour l'émission de neutrons de 14 MeV suite à la réaction de fusion  $^3\text{H}(\text{d},\text{n})^4\text{He}$ , caractérisé en ce que ledit masque est une feuille d'aluminium d'épaisseur comprise entre 0,1 mm et 1 mm muni d'un sténopé dont la surface est comprise entre 0,3 mm<sup>2</sup> et 1 mm<sup>2</sup>.
- 20 4. Application du tube générateur de neutrons selon l'une des revendications 1 à 3 à la mesure du débit neutronique dudit tube.
5. Application du tube générateur de neutrons selon l'une des revendications 1 à 3 à l'analyse de matière(s) par  
25 interrogation neutronique continue.
6. Tube générateur de neutrons selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de focalisation du rayonnement alpha consistent en un masque codé muni d'une multiplicité de (n) trous de taille millimétrique combiné avec  
30 des moyens de décodage de l'image multiple formée par l'impact des particules alpha utiles sur ledit détecteur de particules alpha.
7. Application du tube générateur de neutrons selon la revendication 6 à l'imagerie tridimensionnelle de substances  
35 cachées par interrogation neutronique continue.

1/3



INV 95/001



2/3

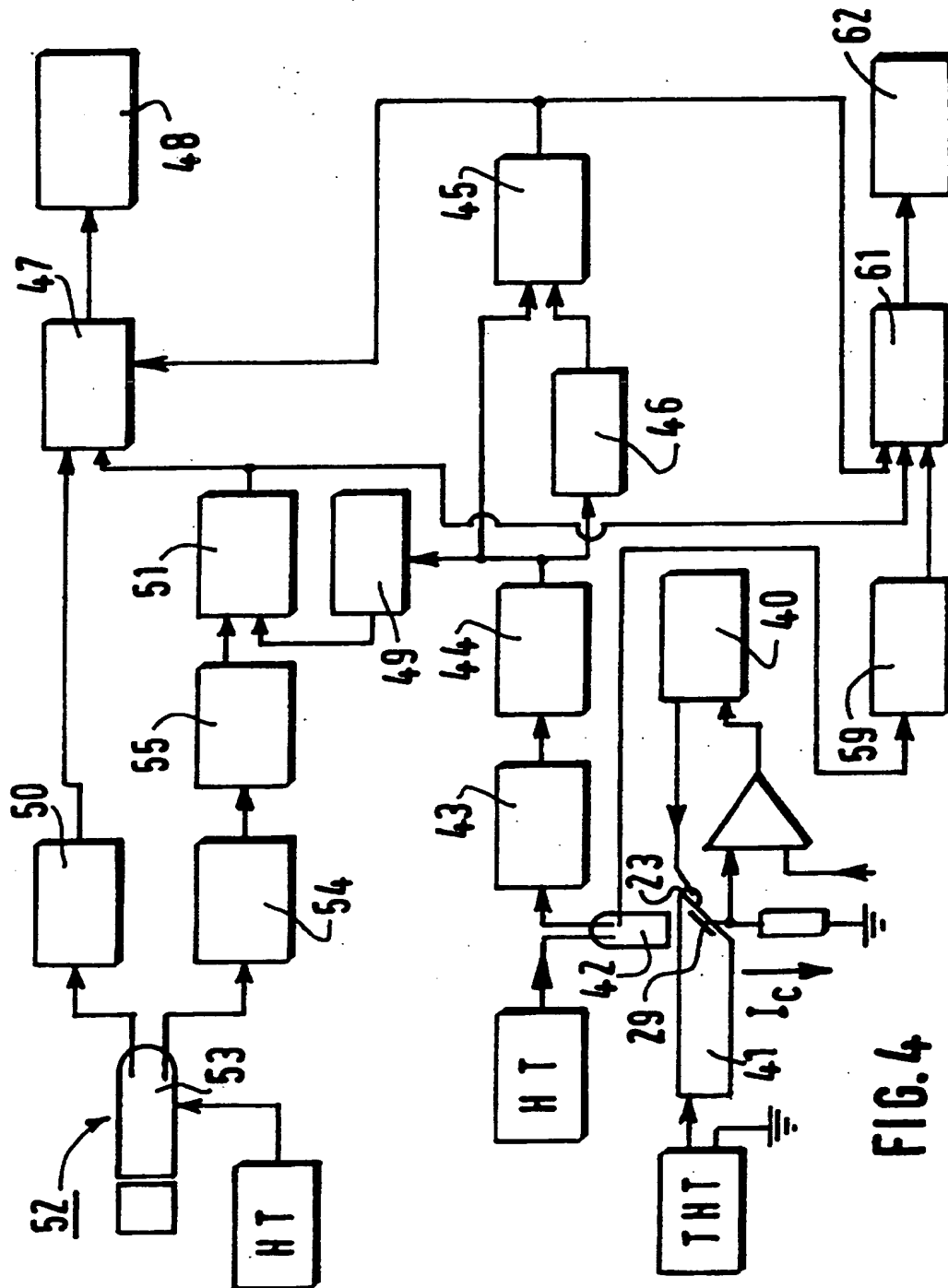


FIG. 4

INV 95/001

3/3

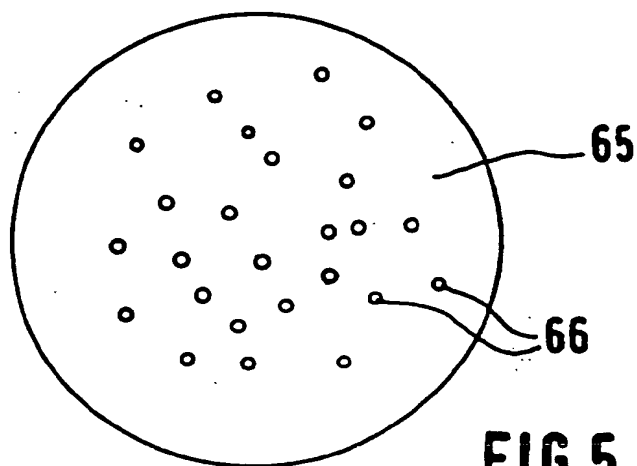


FIG. 5

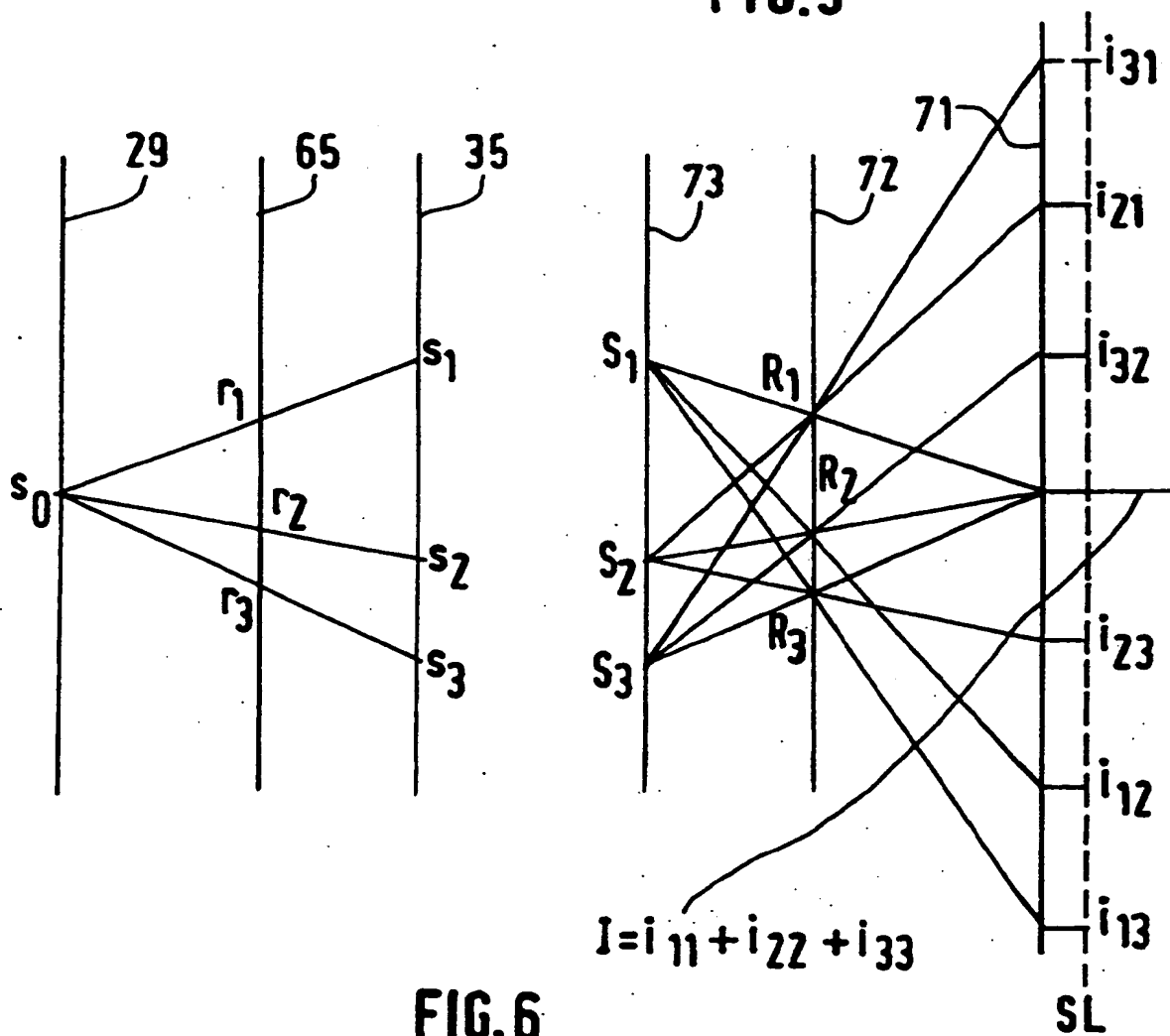


FIG. 6

INV 95/001

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIREétabli sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

2738669

N° d'enregistrement  
nationalFA 521069  
FR 9510709

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	DATABASE INSPEC INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB Inspec No. 4450529, RHODES E ET AL: "APSTNG: radiation interrogation for verification of chemical and nuclear weapons" XP002003630 & CONFERENCE RECORD OF THE 1991 IEEE NUCLEAR SCIENCE SYMPOSIUM AND MEDICAL IMAGING CONFERENCE (CAT. NO.91CH3100-5), SANTA FE, NM, USA, 2-9 NOV. 1991, ISBN 0-7803-0513-2, 1991, NEW YORK, NY, USA, IEEE, USA, pages 1293-1297 vol.2, XP000571228	1
A	* le document en entier *	3-5,7
Y	NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION - A: ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, vol. A317, no. 3, 15 Juillet 1992, pages 553-558, XP000413051 WILHELM I ET AL: "PRODUCTION OF MONOENERGETIC NEUTRONS FROM THE T(D, N)X REACTION WITH THE ASSOCIATED PARTICLE METHOD"	1
A	* page 553, alinéa 1 - page 554, alinéa 1; figure 1 *	2,3
---		
-/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
22 Mai 1996		Capostagno, E
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'un ou de plusieurs revendications ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		

1

EPO FORM 1503 (01.81) (P0411)

INSTITUT NATIONAL

de la

PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIREétabli sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

FA 521069

FR 9510709

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	<p>DATABASE INSPEC INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB Inspec No. 4450530, BEYERLE A ET AL: "Associated particle imaging" XP000568087 &amp; CONFERENCE RECORD OF THE 1991 IEEE NUCLEAR SCIENCE SYMPOSIUM AND MEDICAL IMAGING CONFERENCE (CAT. NO.91CH3100-5), SANTA FE, NM, USA, 2-9 NOV. 1991, ISBN 0-7803-0513-2, 1991, NEW YORK, NY, USA, IEEE, USA, pages 1298-1304 vol.2, * page 1298, alinéa 1 - page 1300, alinéa 1 *</p> <p>---</p>	1,5
A	<p>DATABASE INSPEC INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB Inspec No. 4534470, PETERS C W ET AL: "IGRIS for characterizing low-level radioactive waste" XP002003631 * abrégé * &amp; FOURTEENTH ANNUAL U.S. DEPARTMENT OF ENERGY LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT CONFERENCE PROCEEDINGS (CONF-921137-PROC), PHOENIX, AZ, USA, 18-20 NOV. 1992, 1993, IDAHO FALLS, ID, USA, EG&amp;G IDAHO INC, USA, pages 241-255,</p> <p>---</p> <p>-/--</p>	1,5
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. CL. 6)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
22 Mai 1996		Capostagno, E
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'un moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons A : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 150 01.02 (POC13)

INSTITUT NATIONAL

de la

PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIREétabli sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

FA 521069

FR 9510709

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
D,A	IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, vol. 22, no. 1, 1 Février 1975, pages 374-378, XP000560601 CHANG L T ET AL: "CODED APERTURE IMAGING OF GAMMA-RAYS USING MULTIPLE PINHOLE ARRAYS AND MULTIWIRED PROPORTIONAL CHAMBER DETECTOR" * le document en entier *	6
D,A	REPORT OF LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY, Octobre 1990, NEW MEXICO, USA, pages 1-100, XP000571213 PENTALERI ET AL.: "Evaluation of the NDP system- Final Report"	
A	SEVENTH SYMPOSIUM ON X- AND GAMMA-RAY SOURCES AND APPLICATIONS, ANN ARBOR, MI, USA, 21-24 MAY 1990, vol. A299, no. 1-3, ISSN 0168-9002, NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION A (ACCELERATORS, SPECTROMETERS, DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT), 20 DEC. 1990, NETHERLANDS, pages 458-462, XP002003629 BEYERLE A ET AL: "Design of an associated particle imaging system"	
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. CL.6)
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
22 Mai 1996		Capostagno, E
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrivée plus technologique général O : divulgation non-écrite P : document intermédiaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons A : membre de la même famille, document correspondant		

1  
EPO FORM 1503 (01.92) (PNC13)